





## Piezoelectric actuator for a servo drive, servo drive with a piezoelectric actuator and method of producing a piezoelectric actuator

**Patent number:** DE19818068  
**Publication date:** 1999-10-28  
**Inventor:** FRANK WILHELM (DE); SCHUH CARSTEN (DE);  
VOIGT ANDREAS (DE); LEWENTZ GUENTER (DE);  
ZUMSTRULL CLAUS (DE)  
**Applicant:** SIEMENS AG (DE)  
**Classification:**  
- **international:** H02N2/04; F02M51/06  
- **european:** H01L41/053; H01L41/083  
**Application number:** DE19981018068 19980422  
**Priority number(s):** DE19981018068 19980422

**Also published as:**

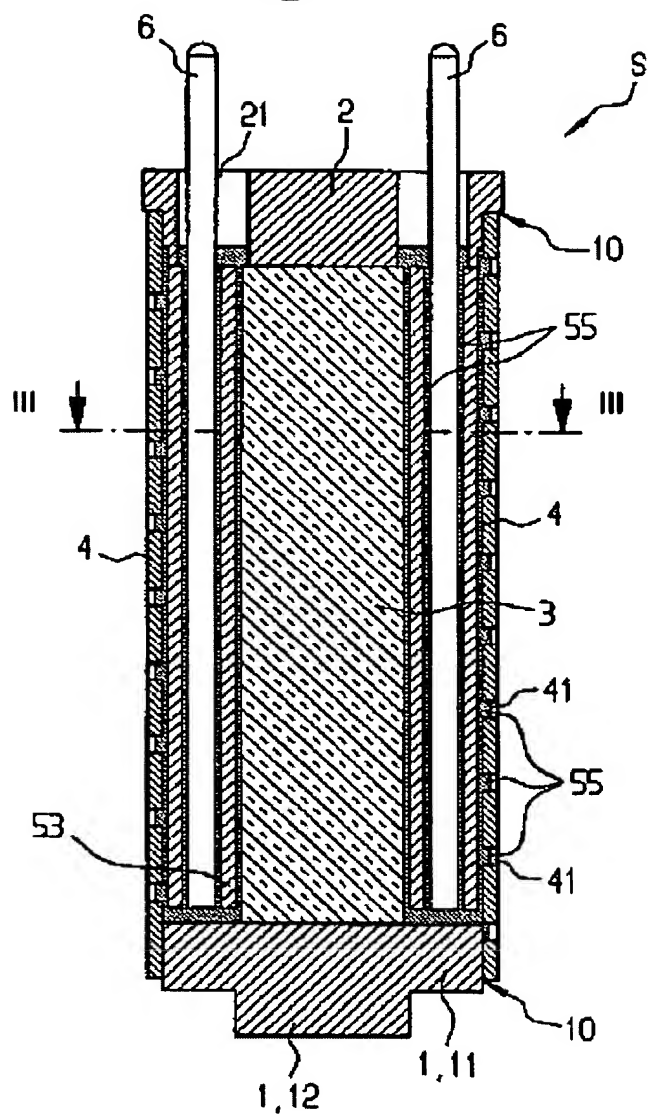
 EP0954037 (A1)  
 US6274967 (B1)  
 JP11332259 (A)  
 EP0954037 (B1)

Abstract not available for DE19818068

Abstract of corresponding document: **US6274967**

A servo drive includes a piezoelectric actuator contained in a drive housing. The actuator has an actuator stack surrounded by a hollow cylindrical spring element and an actuator casing disposed in the spring element. The spring element is clamped, together with the actuator stack, between an actuator cap and an actuator base. An elastic compound fills gaps between the drive housing and the spring element as well as between the spring element and the actuator casing, and damps an actuator motion. A piezoelectric actuator for the servo drive and a method of producing the piezoelectric actuator are also provided

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**DE 198 18 068 A 1**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Aktor für einen Stellantrieb gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1, einen Stellantrieb mit einem piezoelektrischen Aktor gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 7 und Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Aktors gemäß der Oberbegriffen der Patentansprüche 16 und 17.

Piezoelektrische Aktoren werden beispielsweise in einem Stellantrieb eines Kraftstoffeinspritzventils zum Steuern einer Einspritznadel und damit zum Steuern des Einspritzvorganges für eine Brennkraftmaschine verwendet.

Aus der Patentschrift DE 38 44 134 C2 ist bereits ein Stellantrieb mit einem piezoelektrischem Aktor bekannt, dessen piezoelektrischer Aktorstapel in einem Antriebsgehäuse eingebracht und von einem hohlzylindrischen Federelement umschlossen ist, wobei der Aktorstapel und Federelement zwischen einem Aktordeckel und einem verschiebbaren Aktorboden eingespannt ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Dämpfungseigenschaften des piezoelektrischen Aktors und des Stellantriebs zu verbessern.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1, durch die Merkmale des Patentanspruchs 7, durch die Merkmale des Patentanspruchs 16 und durch die Merkmale des Patentanspruchs 17 gelöst. Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, die Dämpfungseigenschaften des Stellantriebs zu verbessern und damit die Zuverlässigkeit und die Genauigkeit des Stellantriebs zu erhöhen. Als weiteren Vorteil sind die Komponenten des Stellantriebs elektrisch gut voneinander isoliert und gegen äußere Umwelteinflüsse gut geschützt.

Weitere vorteilhafte Ausbildungen und Verbesserungen der Erfindung sind in den abhängigen Patentansprüchen angegeben.

Die Erfindung wird anhand der Figuren näher erläutert; es zeigen:

Fig. 1 einen Längsschnitt durch einen Aktor entlang der Linie B-B durch den Aktor in Fig. 3,

Fig. 2 ein räumliches Gesamtbild eines Aktors,

Fig. 3 einen Querschnitt entlang der Linie A-A durch den Aktor in Fig. 1,

Fig. 4 einen Längsschnitt durch einen Stellantrieb mit einem Aktor.

Der in Fig. 1 dargestellte Aktor S weist ein Federelement 4 auf, das als Hohlzylinder ausgebildet ist und dessen Öffnungen von einem Aktorboden 1 und einem Aktordeckel 2 abgeschlossen sind. Der Aktorboden 1 und der Aktordeckel 2 sind vorzugsweise zylindrisch ausgebildet. Das Federelement 4 umschließt einen Aktormantel 53 mit einem darin eingebrachten Aktorstapel 3 und mit darin eingebrachten elektrischen Anschlüssen 6. Der Aktorstapel 3 ist mit seinen Stirnflächen zwischen den Abdeckflächen des Aktordeckels 2 und des Aktorbodens 1 plan eingespannt und ist von dem Federelement 4 in Längsrichtung gegen eine Ausdehnung vorgespannt.

Der Aktordeckel 2 ist in axialer Richtung durch einen Ringabsatz unterteilt, der während des Vorspannens des Federelements 4 beim Herstellen des Aktors S als Anschlag für das Federelement 4 dient und so vorteilhaft die Herstellung vereinfacht.

In dem Aktormantel 53 sind zusätzlich vorzugsweise stiftförmig ausgebildete elektrische Anschlüsse 6 eingebracht, die im wesentlichen parallel zur Längsachse des Aktorstapels 3 gerichtet sind und durch die vorzugsweise als Bohrung ausgeführten Anschlußdurchführungen 21 im Aktordeckel 2 nach außen geführt werden.

Die Außenansicht des Aktors S ist in Fig. 2 dargestellt.

Die elektrischen Anschlüsse 6 des Aktors S ragen über den Aktorboden 1 heraus. Das zwischen dem Aktordeckel 2 und dem Aktorboden 1 liegende hohlzylindrische Federelement 4 weist Ausnehmungen 41 auf, die vorzugsweise über die Fläche des Federelements 4 verteilt sind. Verteilung und Form der Ausnehmungen 41 bestimmen das Federverhalten des Federelements 4.

Der Aufbau des Aktors S wird in Fig. 3 im Querschnitt entlang der Linie A-A in Fig. 1 verdeutlicht. Der Aktorstapel 3 weist mehrere übereinandergeschichtete piezoelektrische Elemente auf. Der Aktormantel 53 weist ein Hohlprofil auf, in das der Aktorstapel 3 zusammen mit den elektrischen Anschlüssen 6 und Verbindungselementen 7 eingebracht ist, wobei eine elastische Masse 55 das Hohlprofil ausfüllt. Die Verbindungselemente 7 sind vorzugsweise als elektrisch leitende Folien ausgebildet und verbinden die elektrischen Anschlüsse 6 mit seitlich am Aktorstapel 3 angebrachten Elektroden. Der Aktorstapel 3 wird über die elektrischen Anschlüsse 6 elektrisch angesteuert.

Die elastische Masse 55 weist folgende Materialeigenschaften auf: Sie ist elektrisch isolierend, elastisch, dämpfend, temperaturbeständig über einen weiten Temperaturbereich von z. B.  $-40^{\circ}$  bis  $+150^{\circ}$  Celsius und resistent gegenüber Kraftstoffen, z. B. Diesel. Weiterhin haftet die elastische Masse 55 gut an den Oberflächen der sie umgebenden Körper, was zu einer kraftschlüssigen Verbindung zwischen den Körpern führt. Vorzugsweise besteht die elastische Masse 55 aus einem vernetzten Elastomer, aus Silikon oder aus LSR (Liquid Silicon Rubber).

Die elastische Masse 55 füllt zusätzlich die Ausnehmungen 41, den Spalt zwischen dem Federelement 4 und dem Aktormantel 53 und den Zwischenraum zwischen den elektrischen Anschlüssen 6 und dem Aktorboden 1 ganz oder wenigstens teilweise aus und dichtet den Innenraum des Aktors S im Bereich der Anschlußdurchführungen 21 ab.

Fig. 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Stellantriebs SB, der den Aktor S aufweist, der in ein hohlzylindrisches Antriebsgehäuse 9 eingebracht ist. An der einen stirnseitigen Öffnung des Antriebsgehäuses 9 ist der Aktordeckel 2 über eine umlaufende Verbindungsnaht 10 mit dem Antriebsgehäuse 9 verbunden ist. An der gegenüberliegenden Öffnung ist eine Membran 8 mit der Innenfläche des Antriebsgehäuses 9 über eine weitere umlaufende Verbindungsnaht 10 verbunden.

Eine haltbare und abdichtende Verbindung der Bauteile des Stellantriebs SB miteinander erfolgt über Verbindungsnahte 10, die vorzugsweise durch Verschweißen, z. B. Laserschweißen, hergestellt wird.

Der zylindrische Aktorboden 1 ist in axialer Richtung durch einen Ringabsatz in eine Bodenplatte 11 und einen Bodenabsatz 12 mit geringerem Durchmesser unterteilt. Der Bodenabsatz 12 wird durch die zentrale Öffnung der Membran 8 teilweise nach außen geführt und über eine Verbindungsnaht 10 mit den Rändern der Öffnung der Membran 8 verbunden.

Der Aktor S wird durch Ansteuern des Aktorstapels 3 axial ausgelenkt. Da der Aktordeckel 2 mit dem Antriebsgehäuse 9 fest verbunden ist, wird der Aktorboden 1 des Stellantriebs SB in Richtung der Membran 8 ausgelenkt, wobei die Membran 8 sich mitbewegt und sich entsprechend elastisch verformt. Die Auslenkung steuert beispielsweise ein an den Stellantrieb SB angeschlossenes Servoventil eines Kraftstoffeinspritzventils, insbesondere eines Dieseleinspritzventils, oder direkt eine Einspritzventilnadel an.

Die elastische Masse 55 ist in die Spalten zwischen dem Antriebsgehäuse 9 und dem Federelement 4, zwischen dem Federelement 4 und dem Aktormantel 53 und zwischen dem Aktormantel 53 und dem Aktorstapel 3 eingebracht. Die

sich jeweils gegenüberliegenden Flächen der Spalten sind annähernd parallel zueinander ausgerichtet und bewegen sich durch die axiale Auslenkung des Aktorstapels 3 und des Federelements 4 antiparallel zueinander. Diese Bewegung übt auf die elastische und dämpfende Masse 55 eine Scherbewegung aus, wobei der Wert der sich ergebenden Dämpfung abhängig ist

- vom Verhältnis der Amplitude der Scherbewegung zur Spaltbreite,
- von der Länge des Spaltes,
- vom Füllgrad des Spaltes, d. h. wieviel Prozent des Spaltes mit der elastischen Masse 55 ausgefüllt ist.

Somit ist vorteilhaft der Grad der Dämpfung mittels obiger Parameter einstellbar. Bei Kraftstoffeinspritzventilen wird durch diese Dämpfungsmaßnahmen ein Schwingen oder Prellen der Einspritzventilnadel verhindert, wodurch vorteilhaft die Einspritzzeiten verkürzt und unzulässige Einspritzvorgänge vermieden werden.

In der Herstellung werden vor dem Ausfüllen von Zwischenräumen mit der elastischen Masse die Oberflächen der Körper, die die elastische Masse 55 umgeben, geprimert, d. h. ein Primer-Material wird auf die Oberflächen aufgebracht und dient zur verbesserten Haftung der elastischen Masse 55 auf den sie umgebenden Körper. Alternativ kann Herstellungsschritt des Primerns wegfallen, wenn das Primer-Material in der elastischen Masse 55 eingebracht ist.

In einem Ausführungsbeispiel besteht der Aktormantel 53 aus Polyamid (PA). PA ist erheblich weniger elastisch als die elastische Masse 55 und folgt somit der Auslenkung des Aktorstapels 3 und des Federelements 4 nur unwesentlich. Der Aktormantel 53 weist ein Hohlprofil auf, in das der Aktorstapel 3, die elektrischen Anschlüsse 6 und die Verbindungselemente 7 eingebracht sind. Das Verfahren zur Herstellung des Aktors 55 mit einem vorzugsweise aus PA bestehenden Aktormantel 53 weist folgende Herstellungsschritte auf:

- Der Aktorstapel 3, die elektrischen Anschlüsse 6 und die Verbindungselemente 7 werden in das Hohlprofil des Aktormantels 53 eingebracht.
- Daraufhin wird das Hohlprofil mit der elastischen Masse 55 ausgefüllt, so daß der Aktorstapel 3, die elektrischen Anschlüsse und die Verbindungselemente 7 elastisch in dem Aktormantel 53 eingebettet sind.
- Der Aktormantel 53 wird in das Federelement 4 eingebracht.
- Der Aktorstapel 3 wird mit seinen Stirnflächen zwischen dem Aktorboden 1 und dem Aktordeckel 2 eingespannt.
- Der Aktordeckel 2 und der Aktorboden 1 wird mit dem Federelement 4 über die Verbindungsnaht 10 verbunden.
- Der Zwischenraum zwischen dem Federelement 4 und dem Aktormantel 53 wird mit der elastischen Masse 4 zumindest teilweise ausgefüllt.

Die Reihenfolge der letzten drei Fertigungsschritte können abweichend vom oben aufgeführten Ausführungsbeispiel ablaufen.

Der Aktormantel 53 besteht in einem weiteren Ausführungsbeispiel aus der elastischen Masse 55, vorzugsweise aus Silikon.

Das Verfahren zur Herstellung des Aktors 55 mit einem Aktormantel 53, aus der elastischen Masse 55 besteht, weist folgende Herstellungsschritte auf:

- Zumindest ein Teil des Aktorstapels 3, der elektri-

schen Anschlüsse 6 und der Verbindungselemente 7 werden mit einer Passivierungsschicht überzogen, die vorzugsweise aus der elastischen Masse 55 besteht, z. B. aus Silikon, und die die überzogenen Komponenten bei der weiteren Verarbeitung schützt.

- Der Aktorstapel 3, die elektrischen Anschlüsse 6 und die Verbindungselemente 7 werden in das Federelement 4 eingebracht.

- Die Stirnseiten des Federelements 4 und des Aktorstapels 3 werden von dem Aktorboden 1 und dem Aktordeckel 2 abgeschlossen, der Aktorstapel dadurch vorgespannt.

- Vorzugsweise durch die Ausnehmungen 41 und/oder die Anschlußdurchführungen 21 wird der Innenraum des hohlzylindrischen Federelements 4 mit der elastischen Masse 55 ausgefüllt und dadurch gleichzeitig der Aktormantel 53 hergestellt. Die auf der Oberfläche des Federelements 4 vorzugsweise gleichmäßig verteilten Ausnehmungen 41 vereinfachen dabei vorteilhaft das schnelle Einbringen der elastischen Masse 55.

- Vor oder nach Ausgießen des Innenraums des Federelements 4 mit der elastischen Masse 55 werden der Aktorboden 1 und der Aktordeckel 2 mittels einer umlaufenden Verbindungsnaht 10 mit dem Federelement 4 verbunden.

Vorteilhaft entfällt bei diesem Verfahren das gesonderte Herstellen des Aktormantels 53 und das Einbringen des Aktorstapels 3, der elektrischen Anschlüsse 6 und der Verbindungselemente 7 in den Aktormantel 53.

Eine Ausführungsform der Erfindung stellt einen Aktor S mit der elastischen Masse 55 dar, die in den Zwischenraum zwischen dem Federelement 4 und dem vorzugsweise aus PA bestehenden Aktormantel 53 eingebracht ist. Die Bewegung zwischen dem Federelement 4 und dem Aktormantel 53 wird durch die elastische Masse 55 gedämpft. Die Bewegung wird verstärkt gedämpft, wenn zwischen Aktorstapel 3 und Aktormantel 53 ein schmaler Spalt ausgebildet ist, in dem die elastische Masse 55 eingebracht ist.

Eine weitere Ausführungsform der Erfindung stellt einen Stellantrieb SB einem Aktor S dar, wobei in den Zwischenraum zwischen die elastische Masse 55 eingebracht ist. Die Bewegung zwischen dem Federelement 4 und dem Antriebsgehäuse 9 wird erfindungsgemäß durch die elastische Masse 55 gedämpft. In dieser Ausführungsform besteht der Aktormantel 53 aus der elastischen Masse 55, wobei sich der Aktorstapel 53 gegenüber dem Federelement 4 bewegt und diese Bewegung aufgrund der großen Entfernung zwischen Aktorstapel 3 und Federelement 4 durch die elastische Masse 55 des Aktormantels 53 schwach gedämpft wird.

Weitere Ausbildungsformen ergeben sich durch Kombinieren der Merkmale der Ausführungsformen der Erfindung. Durch Kombinieren der Merkmale ist vorteilhaft der Grad der Dämpfung der Bewegung einstellbar.

Durch Strukturieren der die elastische Masse 55 umgebenden Oberflächen, z. B. über umlaufende Vertiefungen 91 (Ringnut) der Innenfläche des Aktorgehäuses 9, über Vertiefungen der Oberfläche des Aktormantels 53 oder über Ausnehmungen 41 des Federelements 4, wird vorteilhaft durch Formschluß eine verstärkte und dauerhafte Haftung der elastischen Masse 55 an die sie umgebenden Oberflächen erreicht und somit ein sicherer Kraftschluß erreicht.

Der Aktorstapel 53, die elektrischen Anschlüsse 6 und die Verbindungselemente 7 sind vorteilhaft mehrfach gegenüber äußeren Umwelteinflüssen geschützt, und zwar durch den Aktormantel 53, die elastische Masse 55 und die umlaufenden Verbindungsnahte 10.

Das Material des Antriebsgehäuses 9 dehnt sich mit ei-

nem sehr geringen Temperaturkoeffizienten aus und besteht vorzugsweise aus Invar (35% Ni, 65% Fe).

#### Patentansprüche

1. Piezoelektrischer Aktor (S) für einen Stellantrieb (SB) mit einem Aktorstapel (3), der von einem hohlzylindrischen Federelement (4) umfaßt ist, das zusammen mit dem Aktorstapel (3) zwischen einem Aktordeckel (2) und einem Aktorboden (1) eingespannt ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen dem Federelement (4) und dem Aktorstapel (3) ein Aktormantel (53) angeordnet ist, in dem der Aktorstapel (3), elektrische Anschlüsse (6) und Verbindungselemente (7) eingebracht sind, daß das Federelement (4) mit dem Aktormantel (53) über eine elastische Masse (55) kraftschlüssig und/oder formschlüssig verbunden ist.
2. Piezoelektrischer Aktor (S) für einen Stellantrieb (SB) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Federelement (4) Ausnehmungen (41) aufweist, in denen mindestens teilweise die elastische Masse (55) eingebracht ist.
3. Piezoelektrischer Aktor (S) für einen Stellantrieb (SB) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmungen (41) des Federelements (4) auf der Fläche des Federelements (4) verteilt sind.
4. Piezoelektrischer Aktor (S) für einen Stellantrieb (SB) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des Aktormantels (53) eine Strukturierung aufweist, in der mindestens teilweise die elastische Masse (55) eingebracht ist.
5. Piezoelektrischer Aktor (S) für einen Stellantrieb (SB) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, 11 daß der Aktormantel (53) aus der elastischen Masse (55) besteht.
6. Piezoelektrischer Aktor (S) für einen Stellantrieb (SB) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die elastischen Masse (55) aus Silikon besteht.
7. Stellantrieb (SB) mit einem piezoelektrischen Aktor (S), der in einem Antriebsgehäuse (9) eingebracht ist, wobei der Aktor (S) einen Aktorstapel (3) aufweist, der von einem hohlzylindrischen Federelement (4) umfaßt ist, das zusammen mit dem Aktorstapel (3) zwischen einem Aktordeckel (2) und einem Aktorboden (1) eingespannt ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Antriebsgehäuse (9) mit dem Federelement (4) über eine elastische Masse (55) kraftschlüssig und/oder formschlüssig miteinander verbunden ist.
8. Stellantrieb (SB) nach Anspruch 7 mit einem Antriebsgehäuse (9), das stirnseitige Öffnungen aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die stirnseitigen Öffnungen des Antriebsgehäuses (9) vom Aktordeckel (2) und von einer mit dem Aktorboden (1) verbundenen Membran (8) mit einer zentralen Öffnung abgeschlossen ist, durch den der Aktorboden (1) teilweise nach außen geführt ist.
9. Stellantrieb (SB) nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Innenfläche des Antriebsgehäuses (9) eine Strukturierung aufweist, in der mindestens teilweise die elastische Masse (55) eingebracht ist.
10. Stellantrieb (SB) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Federelement (4) Ausnehmungen (41) aufweist, in denen mindestens teilweise die elastische Masse (55) eingebracht ist.
11. Stellantrieb (SB) nach Anspruch 10, dadurch ge-

kennzeichnet, daß die Ausnehmungen (41) des Federelements (4) auf der Fläche des Federelements (4) verteilt sind.

12. Stellantrieb (SB) nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des Aktormantels (53) eine Strukturierung aufweist, in der mindestens teilweise die elastische Masse (55) eingebracht ist.

13. Stellantrieb (SB) nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktormantel (53) aus der elastischen Masse (55) besteht.

14. Stellantrieb (SB) nach einem der Ansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die elastischen Masse (55) aus Silikon besteht.

15. Stellantrieb (SB) nach einem der Ansprüche 7 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Antriebsgehäuse (9) aus Invar besteht.

16. Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Aktors (S) für einen Stellantrieb (SB) nach einem der Ansprüche 1, 2, 3, 4 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktormantel (53) ein Hohlprofil aufweist, in das der Aktorstapel (3), die elektrischen Anschlüsse (6) und die Verbindungselemente (7) eingebracht werden, daß das Hohlprofil mit der elastischen Masse (55) ausgefüllt wird,

daß der Aktormantel (53) in das Federelement (4) eingebracht wird, daß der im Aktormantel (53) eingebrachte Aktorstapel (3) mit seinen Stirnflächen zwischen dem Aktorboden (1) und dem Aktordeckel (2) eingespannt wird, daß der Aktordeckel (2) und der Aktorboden (1) mit dem Federelement (4) verbunden wird, daß der Zwischenraum zwischen dem Federelement (4) und dem Aktormantel (53) von der elastischen Masse (4) zumindest teilweise ausgefüllt wird.

17. Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Aktors (S) für einen Stellantrieb (SB) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktorstapel (3), die elektrischen Anschlüsse (6) und die Verbindungselemente (7) in das Federelement (4) eingebracht werden, daß die Stirnseiten des Federelements (4) und des Aktorstapels (3) von dem Aktorboden (1) und dem Aktordeckel (2) abgeschlossen werden, daß der Aktordeckel (2) und der Aktorboden (1) mit dem Federelement (4) verbunden werden, daß der Innenraum des hohlzylindrischen Federelements (4) mit der elastischen Masse (55) ausgefüllt wird.

18. Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Aktors (S) für einen Stellantrieb (SB) nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktorstapel (3), die elektrischen Anschlüsse (6) und die Verbindungselemente (7) vor deren Einbringen in das Federelement (4) mit einer Passivierungsschicht versehen werden.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---



FIG 1

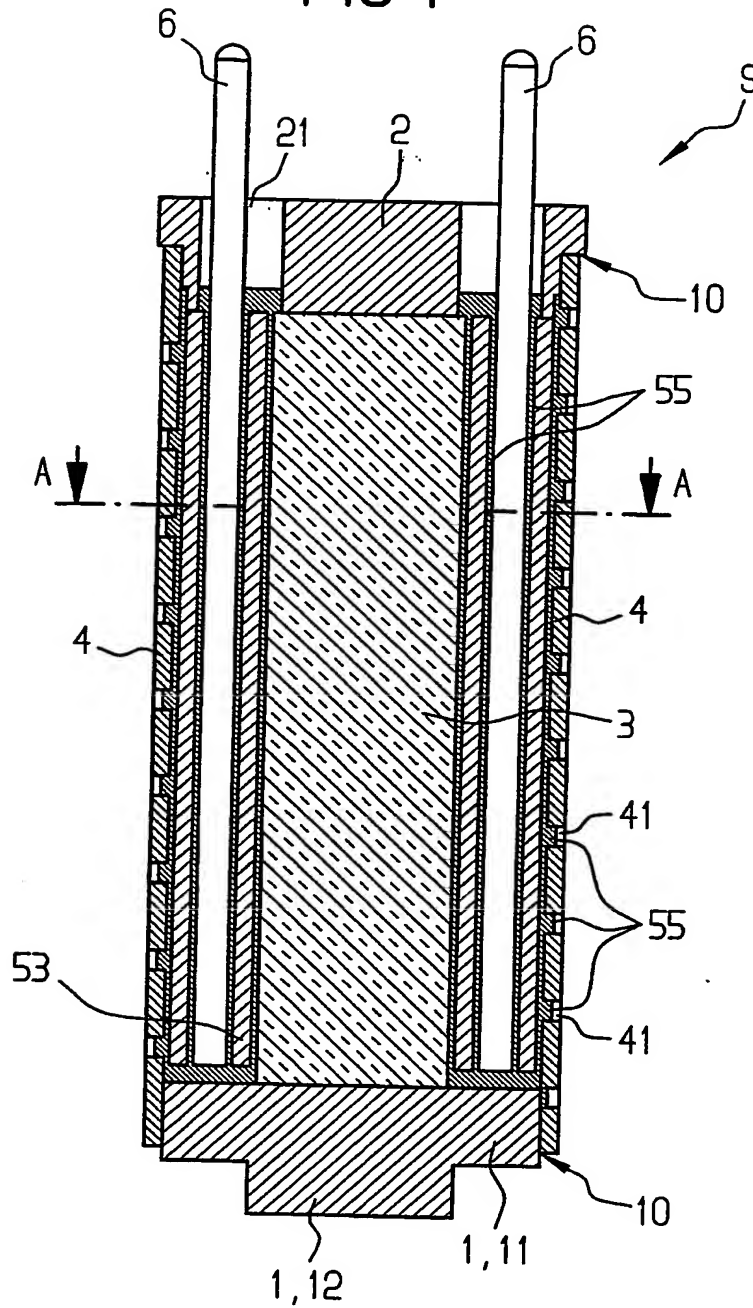


FIG 2

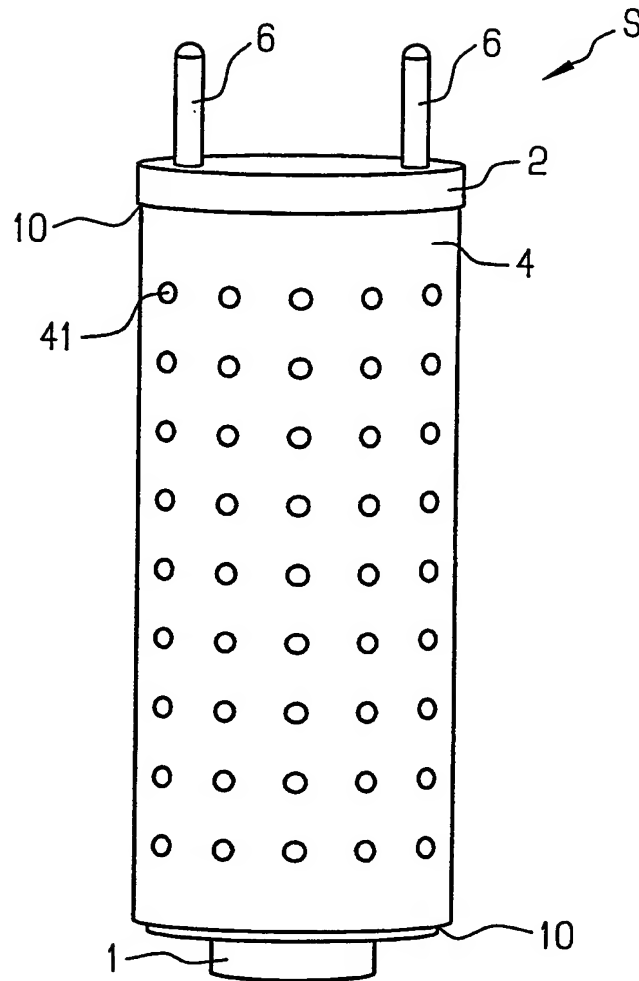




FIG 3

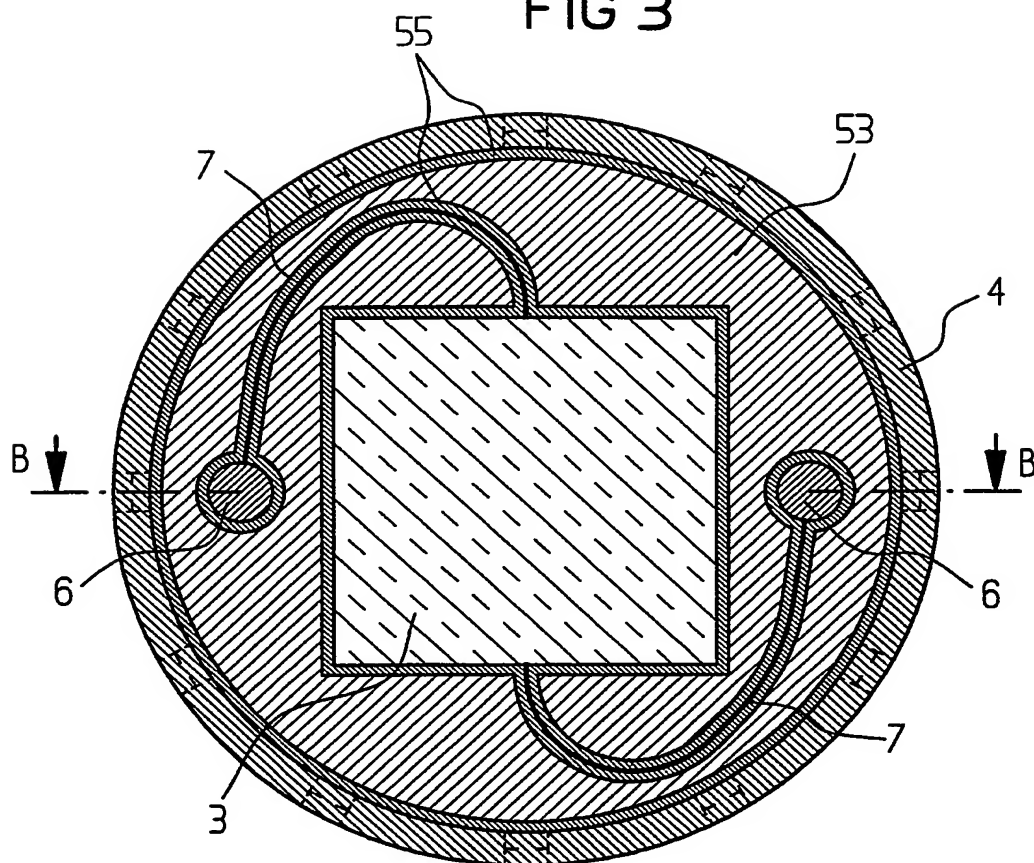


FIG 4

